

Artículo Científico / Scientific Article

Uso de semilla de *Mangífera indica* como coagulante natural para tratamiento de potabilización

Use of Mangífera indica seed as a natural coagulant for purification treatment

Irasema Karina Oliveros Godínez 

¹Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos,
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: karinaoliveros93ot@gmail.com

Recibido: 10/01/2022

Aceptado: 02/06/2022

Resumen

En muchas zonas rurales de Guatemala, el servicio de agua se presta de forma intermitente y no cumple con las características para ser agua potable, principalmente por la presencia de altas concentraciones de turbiedad y color. Estas características del agua pueden ser reducidas a través de la coagulación-floculación-sedimentación con coagulantes que pueden ser de tipo orgánico e inorgánico, siendo los coagulantes inorgánicos los más utilizados, por la poca información científica que existe en relación con los coagulantes naturales. Esta investigación analizó el porcentaje de sustitución o combinación del coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera indica* (mango) por el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$. Para el estudio se utilizó la prueba de jarras, debido a que, simula el proceso de coagulación-floculación que se lleva cabo en una planta potabilizadora. De acuerdo con el estudio realizado el coagulante natural a base de molienda de semilla de *Mangífera indica* alcanzó un porcentaje de remoción de turbiedad de 93.21% para un rango de turbiedad de 215 NTU a 603 NTU, asimismo se determinó que la combinación que mejor eficiencia reportó durante el estudio es la realizada con 40% de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, mezclado con 60% de coagulante natural a base de semilla de *Mangífera indica* (mango). Esta combinación de coagulante natural e inorgánico logró valores de turbiedad residual por debajo de las 5 NTU que requiere la norma guatemalteca para consumo humano (COGUANOR NTG 29001), sin embargo, su aplicación se ve limitada por su costo de producción.

Palabras claves: agua consumo humano, prueba de jarras, cotiledón, Mamífera *indica*, sulfato de aluminio, turbiedad.

Abstract

In many rural areas of Guatemala, the water service is provided intermittently and does not meet the characteristics of drinking water, mainly due to the presence of high concentrations of turbidity and color. These characteristics of the water can be reduced through the process of coagulation-flocculation-sedimentation with coagulants that can be natural and inorganic, with inorganic coagulants being the most widely used, due to the few scientific information that exists about the use of organic coagulants. This research analyzed the percentage of substitution or combination of the coagulant based on the grinding of *Mangifera indica* (mango) seeds by aluminum sulfate $Al_2(SO_4)_3$. The jar test was used for the study because it simulates the coagulation-flocculation process that takes place in a water treatment plant. According to the study carried out, the organic coagulant based on *Mangifera indica* seed grinding reached a turbidity removal percentage of 93.21% for a turbidity range of 215 NTU to 512 NTU. It was also determined that the combination that reported the best efficiency during the study is the one carried out with 40% aluminum sulfate $Al_2(SO_4)_3$, mixed with 60% organic coagulant based on *Mangifera indica* seed (mango). This combination of organic and inorganic coagulant achieved residual turbidity values below 5 NTU required by the Guatemalan standard for human consumption (COGUANOR NTG 29001), however, its application is limited by its production cost.

Key words: water for human consumption, jar test, cotyledon, *Mangífera indica*, aluminum sulfate, turbidity.



Introducción

De acuerdo con Hábitat para la Humanidad (2020), en las zonas rurales de Guatemala se ha determinado que uno de cada cinco habitantes no tiene acceso a fuentes de suministro de agua potable, debiendo dedicar varias horas del día para asegurar este vital líquido, y las poblaciones que si tienen acceso a fuentes para el suministro de agua reportan que las mismas no son suficientes para cubrir su demanda y la calidad de estas es muy mala. Esta información coincide con los estudios realizados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), que hacen ver que el 95% de los recursos hídricos superficiales de Guatemala se encuentran con un alto grado de contaminación, poniendo en riesgo la salud de los guatemaltecos al exponerse a enfermedades gastrointestinales, mismas que son responsables de más de 100 muertes cada año (Hábitat, 2020).

Considerando lo importante que es para las personas contar con mecanismos que les permitan contar con agua que cumpla los estándares de potabilización, se planteó el desarrollo del presente estudio cuyo objetivo fue determinar la combinación de un coagulante natural con un inorgánico que permita proveer agua que cumpla con el límite máximo permisible establecido en la normativa guatemalteca para agua potable (COGUANOR NGO 29001).

Con el estudio se buscó proveer una alternativa de coagulante natural para el tratamiento de agua para consumo humano en el proceso de coagulación-floculación y sedimentación. Debido a que el uso del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ puede generar una concentración de aluminio en el agua tratada, superior a lo establecido en ciertas normativas.

Antecedentes

Los coagulantes orgánicos han sido objeto de estudio desde el siglo XXI considerando su naturaleza biodegradable comparado con los coagulantes inorgánicos (Srafuzzaman, 2011).

Precisamente, Srafuzzaman (2011) indica que, una de las grandes ventajas de los polímeros naturales es el hecho que estos no se han asociado a posibles daños en la salud de las personas que ingieren agua potabilizada con este tipo de coagulantes.

De acuerdo con Oliveros (2022), son diversas las investigaciones que se han realizado, con la finalidad

de disminuir el uso de coagulantes químicos como la realizada por Moscozo (2015), quién determinó que el almidón de yuca puede sustituir al sulfato de aluminio hasta un 60% de la dosis óptima (Moscozo 2015, citado por Oliveros 2022). En este mismo estudio para turbiedades comprendidas en un rango de 0 a 100 NTU se logró sustituir el sulfato de aluminio por almidón de yuca hasta en un 80%, reduciendo este porcentaje a un valor de 60% cuando se realizaron pruebas con turbiedades de 100 a 900 NTU y reduciendo este porcentaje aún mas cuando se aumentó el rango de turbidez de 900 a 1000 NTU.

Álvarez (2016) desarrolló un estudio en el cual investigó un coagulante natural a base de semilla de tamarindo, el cual alcanzó una eficiencia de 67.8% en la remoción de turbiedad y de 49.7% en la remoción de color. Oliveros (2022) citando a Álvarez (2016), explica que en este estudio al realizarse la combinación del coagulante natural a base de semilla de tamarindo con el sulfato de aluminio se alcanzó una eficiencia de remoción de turbiedad del 84.5% y de 74.4% de remoción de color.

En relación con estudios desarrollados para analizar el comportamiento de coagulantes orgánicos a base de molienda de semilla de *Mangífera indica*, se revisó la investigación realizada por Martínez et al. (2017), quien determinó que la dosis óptima de coagulante a base de semilla de *Mangífera indica L* es de 50 a 100 miligramos por litro para aguas con mediana turbidez, alcanzando remociones de turbiedad de 97.8% y de color del 75%.

Castellanos y Martín (2020) en su investigación concluyen que el coagulante a base de semilla de moringa no puede sustituir por completo al cloruro de sodio, pero hacen ver que este coagulante natural puede evaluarse para actuar como complemento de los procesos de potabilización.

Metodología

Materiales

A continuación, se presenta una descripción de la caracterización de los materiales utilizados en la fase experimental.

a) Agua empleada en las pruebas

El agua turbia empleada en el desarrollo de la investigación se tomó de la Planta potabilizadora Lo de Coy, la cual es un canal de entrada del Acueducto

Xayá-Pixcayá ubicada en el kilómetro 17.5 de la carretera Interamericana, en el municipio de Mixco, Guatemala. Esta se encuentra bajo la supervisión de la Empresa Municipal de Agua potable (EMPAGUA) en la Ciudad de Guatemala.

A las muestras de agua en análisis se le tomaron los valores tanto iniciales como finales de temperatura, pH y turbiedad.

b) Molienda de semilla de mangífera índica (mango)

La etapa de caracterización y procesamiento de la molienda de semilla de *Mangífera índica* (mango), se realizó mediante la recolección, secado, molienda y almacenamiento de estas semillas. El proceso utilizado se describe a continuación.

Para lograr una adecuada molienda fue muy importante la selección de los frutos de donde provendrían las semillas para preparar el coagulante, para ello se seleccionó de forma aleatoria frutos que estuvieran en estado de madurez y que los mismos tuvieran características muy similares y sin daños que evidenciaran que el fruto pudiera estar en estado de putrefacción.

A los frutos seleccionados se les retiró la cáscara y luego la pulpa para dejar visible y limpia la semilla de *Mangífera índica* (mango). A cada semilla se le extrajo el cotiledón.

Los cotiledones separados se colocaron en un horno graduado a una temperatura de 105° C, durante 24 horas para proceder a su secado.

Posterior al secado con un mortero de porcelana y un pistilo se procedió a triturar en partes pequeñas el cotiledón de la *Mangífera índica* (mango) previamente secado.

La molienda del cotiledón se realizó mediante un molino manual, hasta obtener harina fina y amarillenta, que fue almacenada en frascos de vidrio, para su posterior utilización.

Para afinar el polvo obtenido del molino manual, se trituro por segunda vez, con un motor de licuadora y un vaso respectivamente

La harina obtenida fue tamizada en un juego de malla de tamices. Resultado de este tamizado se tomó la harina fina que quedo dentro del tamiz No.48 (0.295 milímetros de diámetro de poro).

Para la preparación del coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera índica* (mango), se preparó una solución patrón al 1%, añadiendo en un balón aforado previamente limpio y seco aproximadamente 10 gramos de molienda con 1000 mililitros de agua destilada mezclándose hasta haber obtenido una mezcla homogénea.

La suspensión coagulante se colocó en jeringas, a partir de las diferentes dosis establecidas para la fase experimental.

Combinación de sulfato de aluminio Al₂(SO₄)₃ y molienda de semilla de Mangífera índica (mango)

Con la finalidad de determinar la dosis óptima de coagulante natural a base de molienda de semilla de *Mangífera índica* (mango) que pueda sustituir el sulfato de aluminio Al₂(SO₄)₃ o bien utilizar este como un auxiliar de coagulación, se propusieron combinaciones de dosis incrementales de ambos coagulantes en intervalos del 20% como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Combinaciones de sulfato de aluminio Al₂(SO₄)₃ con coagulante natural a base de molienda de semilla de Mangífera índica (mango)

Combinación	Porcentaje de sulfato de aluminio Al ₂ (SO ₄) ₃	Porcentaje de molienda a base de semilla de mango (<i>Mangífera índica</i>)
1	100%	0%
2	80%	20%
3	60%	40%
4	40%	60%
5	20%	80%
6	0%	100%

Mecanismo de simulación del proceso de potabilización

Dado que el objeto del estudio era evaluar la efectividad del coagulante natural y su combinación con un coagulante inorgánico en el proceso de coagulación-floculación, se optó por la utilización de la prueba de jarras que simula de forma adecuada este mecanismo de potabilización.

La prueba de jarras se realizó según el procedimiento establecido en la norma ASTM D-2035-08 Estándar Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water ((APHA-AWWA-WEF, 2005) con 6 jarras de 2 litros cada una en un equipo Phipps y Bird Inc).

El proceso de prueba de jarras se llevó a cabo de la siguiente forma:

Se distribuyó el agua turbia previamente preparada en cada uno de los vasos de precipitado de 2 litros de volumen.

Se midieron las diferentes dosis incrementales de coagulante natural y sulfato de aluminio en centímetros cúbicos, de acuerdo con los miligramos por litro que se estuviese aplicando en las combinaciones.

Se determinó la dosis optima de sulfato aluminio para cada valor de turbiedad aplicando el criterio inicial: que cada jarra de 2 litros conlleva 1 centímetro cubico de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ equivalente a 5 miligramos por litro, a partir de este criterio, se fueron aumentando las dosis en intervalos de 5 miligramos por litro a 10 miligramos por litro hasta obtener la dosis óptima de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ para cada valor de turbiedad analizado y ser guía en los centímetros cúbicos (miligramos por litro) a aplicar de las diferentes combinaciones de coagulantes.

Posterior a este proceso las dosis de coagulantes se agregaron en los vasos de precipitado o jarras. Seguido se realizó un mezclado rápido a 100 rpm por un periodo de tiempo de 1 min.

De la misma forma se ajustó la velocidad de las paletas a 60 rpm para simular una mezcla lenta por un periodo de tiempo de 15 min.

En esta fase de mezcla, se simuló la etapa de sedimentación del flóculo en un tiempo propicio de 15 minutos. Al finalizar estos 15 minutos de sedimentación se realizó la extracción de las muestras de cada jarra ensayada.

De cada una de las muestras provenientes de las jarras ensayadas, se determinó los parámetros de turbiedad con un turbidímetro “Hach modelo 2100 N”, temperatura con un termómetro, y pH, con un potenciómetro” HI modelo 9813-6”.

Resultados

Durante la ejecución del estudio se determinaron diversos valores según la metodología definida. Estos valores se obtuvieron a partir de los tratamientos del experimento para lo cual se estableció estos tratamientos en función de un rango de turbiedad inicial que debería tener el agua a utilizar. El rango de turbiedad definido fue de 215 NTU a 603NTU.

Con este rango de turbiedad definido, se procedió a preparar el agua que se utilizaría en el ensayo, determinando cinco turbiedades iniciales, la primera de 215 NTU, la segunda de 314 NTU, la tercera de 416 NTU, la cuarta de 512 NTU y la quinta de 603 NTU.

Para cada una de las turbiedades iniciales se determinó la dosis óptima de sulfato de aluminio y la dosis óptima de coagulante natural a base de molienda de semilla de *Mangífera indica (mango)*, los valores obtenidos de estas dosis se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2: Dosis óptima para cada rango de turbiedad analizado

Turbiedad (NTU)	Dosis de sulfato de aluminio (mg/L)	Dosis de molienda de semilla de mango (mg/L)
215	76,00	114,00
314	80,00	120,00
416	66,00	44,00
512	100,00	150,00
603	100,00	150,00

Definida la dosis óptima de coagulante se procedió a realizar el ensayo para lo cual se utilizaron 6 combinaciones de coagulante natural con coagulante inorgánico, la primera combinación consideró 0% de sulfato de aluminio, la segunda 20% de sulfato de aluminio, la tercera 40% de sulfato de aluminio, la cuarta 60 % de sulfato de aluminio, la quinta 80% de sulfato de aluminio y la sexta 100% de sulfato de aluminio.

Con la turbiedad final y la turbiedad inicial obtenida en cada uno de los ensayos realizados se determinó la turbiedad residual (turbiedad inicial menos la final) de cada una de las pruebas realizadas, el resultado de esta eficiencia se muestra en las figuras 1, 2, 3, 4 y 5, donde se puede observar el valor de turbiedad residual obtenido para cada una de las combinaciones de sulfato de aluminio con coagulante natural a base de semilla de *Mangífera indica* para las 6 turbiedades iniciales (215NTU, 314 NTU, 416 NTU, 512 NTU y 603 NTU).

Figura 1: Turbiedad residual obtenida en el tratamiento con turbiedad inicial de 215 NTU

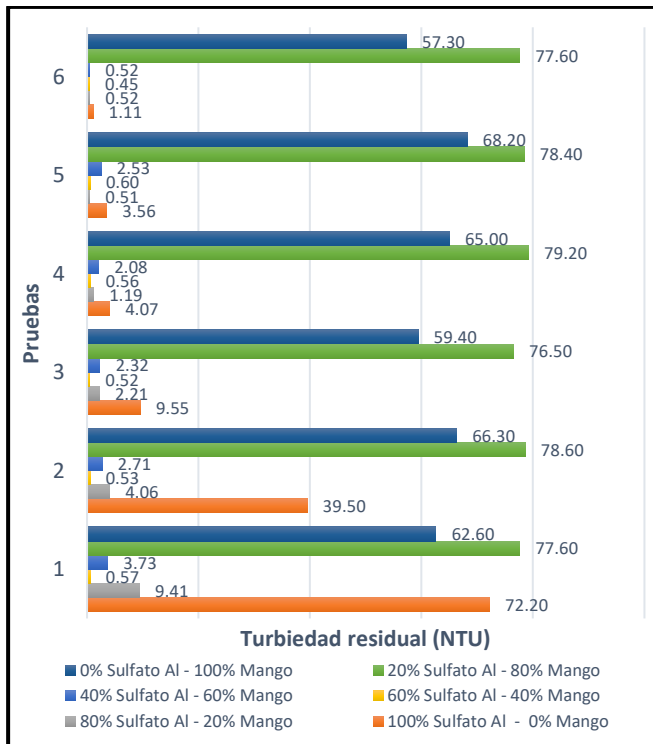


Figura 3: Turbiedad residual obtenida en el tratamiento con turbiedad inicial de 416 NTU

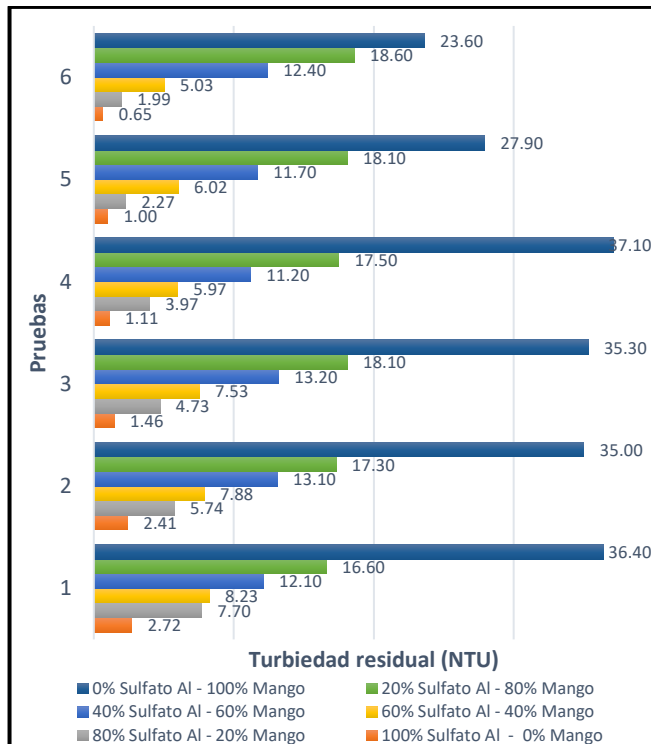


Figura 2: Turbiedad residual obtenida en el tratamiento con turbiedad inicial de 314 NTU

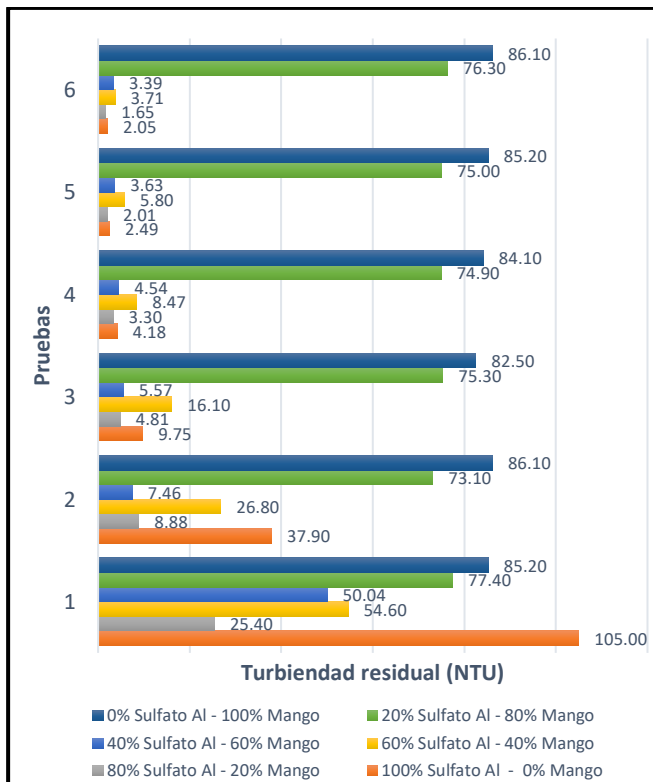


Figura 4: Turbiedad residual obtenida en el tratamiento con turbiedad inicial de 512 NTU

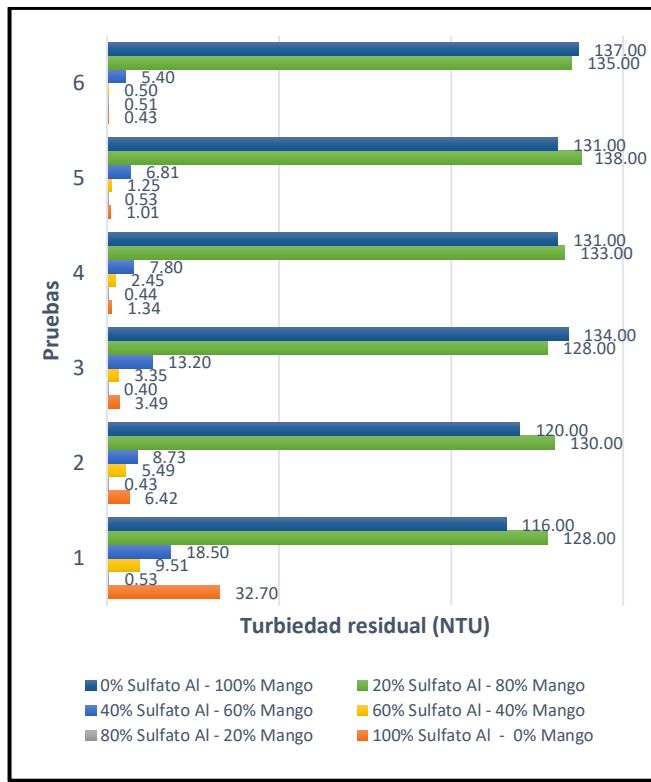
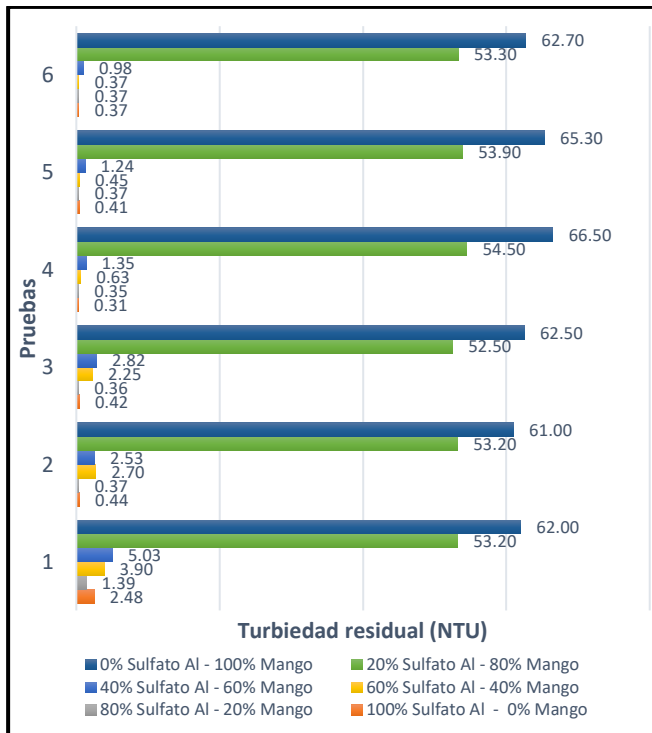
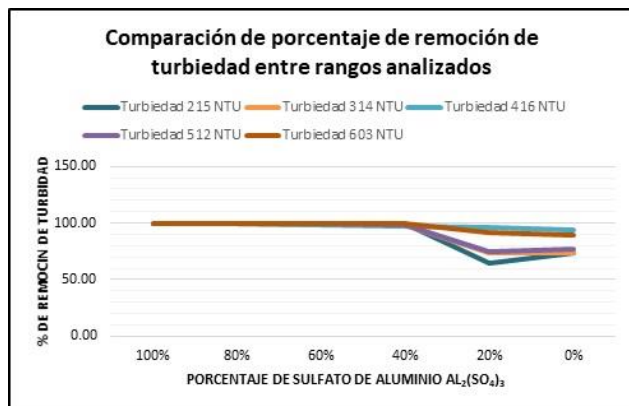


Figura 5: Turbiedad residual obtenida en el tratamiento con turbiedad inicial de 603 NTU



En la figura 6 se muestra el comportamiento del porcentaje promedio de remoción de turbiedad alcanzado en cada uno de los tratamientos estudiados (turbiedades de: 215 NTU, 314 NTU, 416 NTU, 512 NTU y 603 NTU) según el porcentaje de combinación del sulfato de aluminio con el coagulante orgánico obtenido de la molienda de semilla de *Mangífera indica*.

Figura 6: Comportamiento del porcentaje promedio de remoción de turbiedad alcanzado en cada uno de los tratamientos estudiados



Costos de coagulantes

Se investigó el precio de mercado del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y se determinó el costo del coagulante natural a base de molienda de *Mangífera indica* (mango), obteniéndose que el primero tiene un precio de 2.72 quetzales por libra y el segundo de 19.50 quetzales la libra.

Discusión de resultados

Como se puede observar con los datos obtenidos en esta investigación, la remoción de turbiedad es mayor cuando se combina sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ con coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera indica* (mango), caso contrario cuando solamente se aplica coagulante natural.

De acuerdo con esta investigación, los resultados son relativamente favorables utilizando una combinación de 40% sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 60% de coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera indica*. En esta combinación se obtienen valores de turbiedad residual por debajo del valor que la norma COGUANOR NTG 29001 requiere para la concentración de turbiedad en suministros de agua para consumo humano. Este comportamiento presenta una excepción según se puede apreciar en la figura 3, donde existe una varianza en los resultados de la combinación 40% sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 60% molienda de semilla de *Mangífera indica*, sin embargo, analizando los valores obtenidos, estos se encuentran dentro del límite máximo permisible (15 UNT) establecido en la norma COGUANOR NTG 29001.

Los mejores resultados obtenidos en el estudio en relación con el nivel de remoción de turbiedad se encuentran en la combinación de 60% de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 40% de molienda a base de semilla de *Mangífera indica*, cumpliendo con el límite máximo admisible de 5 NTU establecido en la norma COGUANOR NTG 29001,

En la figura 6 se puede observar de mejor manera el comportamiento del porcentaje de remoción de turbiedad en el estudio realizado, evidenciando que en aquellos tratamientos en los que se aplicó el sulfato de aluminio en un porcentaje inferior al 40%, se obtuvieron porcentajes menores de reducción de turbiedad, siendo más evidente este comportamiento en aquellos tratamientos cuya turbiedad inicial estuvo en el rango de 215 a 512 NTU.

El tratamiento con turbiedad inicial de 215 NTU alcanzó una remoción promedio de turbiedad del 89.24% con una línea base definida por una temperatura de 22.6 °C, potencial de hidrógeno de 7.00 y alcalinidad de 98 miligramos por litro. El resultado de la combinación de 40% sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 60% molienda semilla de *Mangífera indica*, proporciono una turbiedad residual de 2.08 NTU (ver figura 1), valor que se encuentra dentro del límite máximo admisible de 5 NTU establecido en la norma COGUANOR NTG 29001.

Para combinaciones donde el sulfato de aluminio se aplica en menos de 40%, la remoción de turbiedad oscila de 64% a 73%, con valores de turbiedad residual por arriba de las 5 NTU por lo que estos no cumplen el valor establecido en la normativa COGUANOR NTG 29001 para agua de consumo humano.

En las combinaciones con turbiedad inicial de 314 NTU se obtuvo una eficiencia de remoción de turbiedad de 90.65%. Es importante observar que este resultado de remoción se obtiene con un valor de pH de 7.27, muy similar al primer tratamiento analizado, sin embargo, la alcalinidad presentó un valor significativamente más alto con 140 miligramos por litro y la temperatura se mantuvo muy cercana al primer tratamiento (24°C).

En el tratamiento con turbiedad inicial de 314 NTU, la combinación de 40% sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 60% de coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera indica*, alcanzó una turbiedad residual de 3.39 NTU (ver figura 2), encontrándose esta dentro del límite máximo admisible de 5 NTU establecido en la norma COGUANOR NTG 29001.

En este mismo tratamiento las combinaciones inferiores al 40% sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 60% coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera indica* presentaron un porcentaje de remoción de turbiedad menor, ubicándose en un rango de 70-75%, sin embargo, el valor de turbiedad residual se encuentra fuera del límite máximo permisible que especifica la norma.

Para el tratamiento con valor de turbiedad inicial de 416 NTU se logró una remoción promedio de turbiedad del 97.60% manteniéndose valores iniciales de temperatura (24.2°C) similares al tratamiento de 215 NTU y 314 NTU. En el caso del valor inicial de alcalinidad (120 miligramos por litro) esta se presentó en un valor

cercano al mostrado en el tratamiento de 314 NTU, ahora el potencial de hidrógeno si se presentó en valores diferentes ya que este se registró en 6.7.

En este tratamiento con turbiedad inicial de 416 NTU la combinación de 60% sulfato de aluminio y 40% de coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera indica*, el valor de turbiedad residual obtenido fue de 5.00 NTU (ver figura 3), por lo que se encuentra dentro del límite máximo admisible de 5 NTU establecido en la norma COGUANOR NTG 29001.

El tratamiento con turbiedad inicial de 512 NTU alcanzó un porcentaje promedio de remoción de turbiedad de 91.78%, con una temperatura inicial (24.7°C) similar a los otros tratamientos analizados, la alcalinidad inicial se ubicó en el rango de alcalinidad que presentaron los tratamientos de 314 NTU y de 416 NTU, y el potencial de hidrógeno inicial obtenido (6.40) se ubicó cercano al valor del tratamiento de 416 NTU.

En este tratamiento (512 NTU) la combinación de 40% sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 60% molienda semilla alcanzó una turbiedad residual de 5.40 NTU (ver figura 4). Este valor se encuentra fuera del límite máximo admisible de 5 NTU establecido por la norma COGUANOR NTG 29001, sin embargo, este si se encuentran dentro del límite máximo permisible (15 UNT) establecido en la misma norma.

Para el tratamiento con turbiedad inicial de 603 NTU se obtuvo un promedio de remoción de turbiedad de 96.76%. Los mejores resultados de turbiedad residual se obtuvieron en la combinación de 40% sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 60% de coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera indica*, debido a que esta combinación presento menores unidades turbiedad residual, cumpliendo con el límite máximo admisible de 5 NTU establecidas por la norma COGUANOR NTG 29001. En esta combinación se obtuvo una turbiedad residual de 1.35 NTU (ver figura 5). En las combinaciones con porcentajes de sulfato de aluminio por debajo del 40%, se observó una remoción de 89% a 92%, sin embargo, los valores de turbiedad residual se encontraron fuera de lo permisible por la norma COGUANOR NTG 29001.

La dosis óptima (combinación sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y molienda de semilla de mango) para los

valores de turbiedad analizados se ubicó en el rango de 110-250 miligramos por litro.

De los resultados obtenidos se observó que, a mayor rango de turbiedad, las combinaciones de coagulante natural y sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, tienen un mejor desempeño (aumenta la remoción de turbiedad).

Comparando resultados de turbiedad con el estudio de Moscozo (2015), el cual utilizó almidón de yuca, con una metodología similar en el proceso de coagulación-floculación y sedimentación, se determinó que, en promedio se obtuvo una remoción de turbiedad del 49% mientras en esta investigación con la combinación de sulfato aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y molienda de semilla mango (*Mangífera índica*) se obtuvo un 93% de remoción de turbiedad.

En relación a los costos entre la utilización de sulfato de aluminio y el coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera índica*, se determinó que se requiere mayor inversión en la utilización del coagulante natural comparado con el coagulante de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, pudiendo ser este elemento un factor en contra de la utilización de este coagulante natural, sin embargo no debe perderse de vista que en el caso de Guatemala, así como en otros países en desarrollo de la zona tropical este fruto se cultiva a nivel de viviendas o incluso en terrenos baldíos, haciendo que el mismo sea más accesible y los costos de producción pueden ser menores a los aquí expuestos.

Conclusiones

La combinación de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera índica* en el presente estudio alcanzó un porcentaje promedio de remoción de 93.21% en los cinco tratamientos de turbiedad inicial utilizados, con lo cual se evidencia la viabilidad técnica de la utilización de mezclas de coagulantes naturales con sulfato de aluminio.

El porcentaje promedio de remoción de cada tratamiento del presente estudio fue: para una turbiedad inicial de 215 NTU se alcanzó una remoción de 89.24%, para una turbiedad inicial de 314 NTU se logró una remoción de 90.65%, para una turbiedad inicial de 416 NTU se alcanzó una remoción de 97.60, con una turbiedad inicial de 512 NTU se obtuvo una remoción

de 91.78% y para una turbiedad inicial de 603 NTU la remoción promedio fue de 96.76%.

Mediante las diferentes combinaciones de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera índica* se determinó que la combinación que mejor eficiencia de remoción de turbiedad se logra con la combinación de 40% sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 60% coagulante a base de molienda de semilla de *Mangífera índica* (mango). Se exceptúa el tratamiento con turbiedad inicial de 416 NTU, debido a que en este caso la combinación que alcanza el porcentaje de eficiencia mayor es cuando se combina 60% sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y 40% de coagulante a base de molienda de *Mangífera índica*.

La dosis óptima para cada valor de turbiedad analizado es de la manera siguiente: para turbiedad inicial de 215 NTU dosis óptima de 190 mg/l., turbiedad inicial de 314 NTU dosis óptima de 200 mg/l., turbiedad inicial de 416 NTU dosis óptima de 110 mg/l., turbiedad inicial de 512 NTU dosis óptima de 250 mg/l, y para turbiedad inicial de 603 NTU, dosis óptima de 250 mg/l.

En este estudio se determinó que el coagulante natural a base de molienda de semilla de *Mangífera índica* conforme al procedimiento utilizado puede llegar a tener un costo de producción de Q 20.00 por libra, lo cual al compararse con el precio que tenía el sulfato de aluminio al momento de realizarse este estudio que era de Q 2.72 por libra resulta una diferencia considerable que no hace factible la utilización de este coagulante natural, sin embargo es importante resaltar que en muchos países en vías de desarrollo este fruto se cultiva a nivel intra-domiciliar o incluso en predios sin uso específico de producción frutal por lo que el mismo es muy accesible, aspecto que puede incidir considerablemente en una reducción de costos. Por lo expuesto es recomendable profundizar estudios de mercado que permitan establecer la viabilidad de este tipo de coagulantes naturales para el tratamiento a nivel domiciliar, o establecer mecanismos que generen una reducción de los costos de producción para poder comercializarlo a nivel industrial.

Referencias

Álvarez, S. (2016). Uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus Índica*) como coagulante natural en procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua para potabilización. [Tesis

de maestría de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala.

APHA-AWWA-WEF (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York.

Castellanos, L., y Martín, M. (2020). Desarrollo de un coagulante natural a partir de la semilla de moringa para la empresa comercial Dacetex Ltda. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7789/1/6151576-2020-I-IQ.pdf>.

Consultado el 20 septiembre 2020.

Hábitat para la Humanidad. (2020). Agua segura y saneamiento. [En línea] Disponible en: <https://www.habitatguate.org/agua-segura-y-saneamiento/>. Consultado el 20 septiembre 2020.

Martínez, U., Marquina, C., Carrasquero, S., Martínez, M., Rodríguez, C. y Morris, T. (2017). El extracto de semillas de mango (*Mangífera indica* L) como coagulante natural en la potabilización de aguas. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318680519_El_Extracto_de_Semillas_de_Mango_Mangifera_indica_L_como_Coagulante_Natural_en_la_Potabilizacion_de_Aguas.pdf. Consultado el 20 septiembre 2020.

Moscozo, L. R, (2015). Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización. [Tesis de maestría de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala.

Oliveros, I. K, (2022). Análisis del uso de la molienda de la semilla de mango criollo (*Mangífera Índica*) como coagulante natural en el tratamiento de agua para consumo humano. [Tesis de maestría de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala.

Srafuzzaman, M., fakhruddin, A.N.M., hossain, M.A, (2011). Reducción de la turbiedad en el agua utilizando coagulantes naturales disponibles localmente. International Scholarly Research Network, vol. 2011, pp. 1-6. ISSN 2090-7478, 2090-7478. DOI 10.5402/2011/632189, 10.5402/2011/632189.